

HERTENTAMEN

Van Quantum tot Materie

Prof. Dr. C. Gooijer en Prof. Dr. R. Griessen

Donderdag 15 februari 2007
18.30-21.15
Q105

Dit schriftelijk tentamen bestaat uit 6 **opdrachten**. Naast de titel van elke opdracht is het aantal punten aangegeven dat je maximaal kunt halen. Dit is de som van de punten behorend bij de deelvragen van een opdracht. In totaal, voor het hele tentamen, kunnen 63 punten worden gehaald.

De docenten en werkcollegebegeleiders wensen jullie een succesvol tentamen.

1 H																	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr

Natuurconstanten

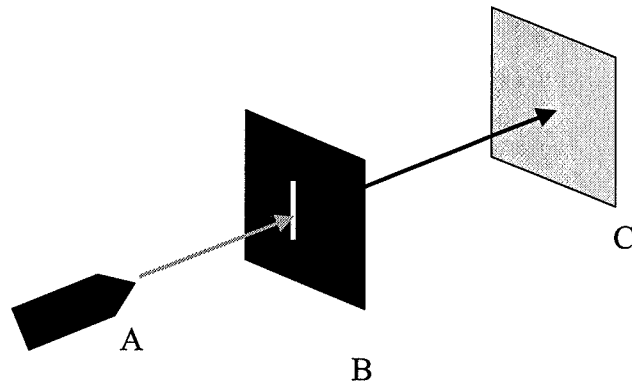
e	$= 1.60$	10^{-19}	C
h	$= 6.63$	10^{-34}	Js
$\hbar$	$= 1.05$	10^{-34}	Js
m_e	$= 9.11$	10^{-31}	kg
c	$= 3$	10^8	m/s
μ_0	$= 4\pi$	10^{-7}	N/A ²
ϵ_0	$= 8.85$	10^{-12}	C ² /Nm ²

Nota Bene:

1. Beantwoord elk van de 5 vragen op een apart vel papier; gebruik indien mogelijk het opgave-blad
2. Schrijf op elke bladzijde je naam
3. Schrijf duidelijk (onleesbare antwoorden leveren 0 punten op)
4. Geen rekenmachine
5. Geen boeken
6. Geen formuletabellen (b.v. BINAS)

1. Twee-spleet experiment met een elektronenbundel (9)

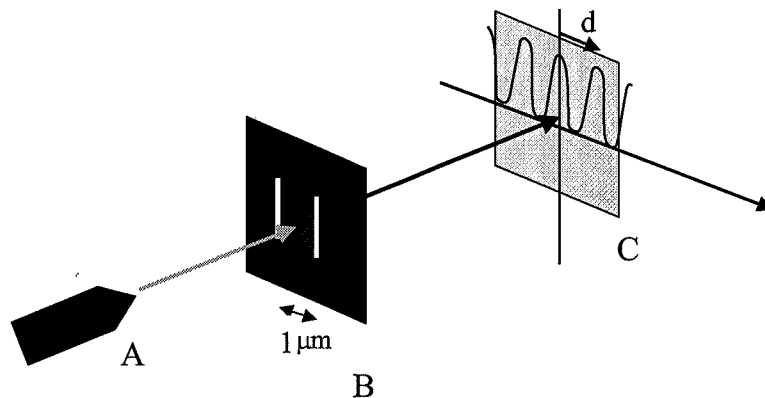
Een elektronenbundel wordt tussen punt A en de plaat B (met een zeer smalle spleet) versneld door een spanning van 0.01 Volt.



Precies in het verlengde van de elektronenbundel wordt een flux van 10^{10} elektronen per mm^2 per seconde waargenomen door de detector C. De afstand tussen B en C is precies 1 meter.

- 2 a) Hoe groot is de golflengte van de elektronen tussen B en C?

Nu plaatsen we een tweede zeer smalle spleet in scherm B. De afstand tussen de twee spleten bedraagt $1 \mu\text{m}$.



- 3 b) Hoe groot is nu de flux in het midden van de detector?
- 4 c) Bij welke afstanden d zijn er maxima in de door de detector C gemeten flux?

2. Atomaire toestanden (11)

De 1s-functie van het H-atoom is

$$\psi_{1s} = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{a_0} \right)^{3/2} e^{-r/a_0}$$

waarin r de afstand tot het proton is

- 1 a) Wat is a_0 ?
- 1 b) Waarom staat $\frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(\frac{1}{a_0} \right)^{3/2}$ voor de e-macht ? Leg uit.
- 2 c) Geef de uitdrukking voor de **radiale** kansverdeling (radiale waarschijnlijkheidsdichtheid) van het elektron. Op welk afstand is ze maximaal ?

Elke toestand van een atoom wordt gekenmerkt door drie kwantumgetallen n , l en m .

- 3 d) - Hoe hangt voor het H-atoom de energie van de kwantumgetallen n , l en m af?
 - Wat is voor het H-atoom de ontaardingsgraad van een toestand met een bepaalde n en een bepaalde l ?
 - Wat is voor een ander atoom de ontaardingsgraad van een toestand met een bepaalde n en een bepaalde l ?
- 4 e) Geef de elektronenconfiguraties van het Cr atoom en het Fe atoom.

3. Elektronenconfiguraties (15)

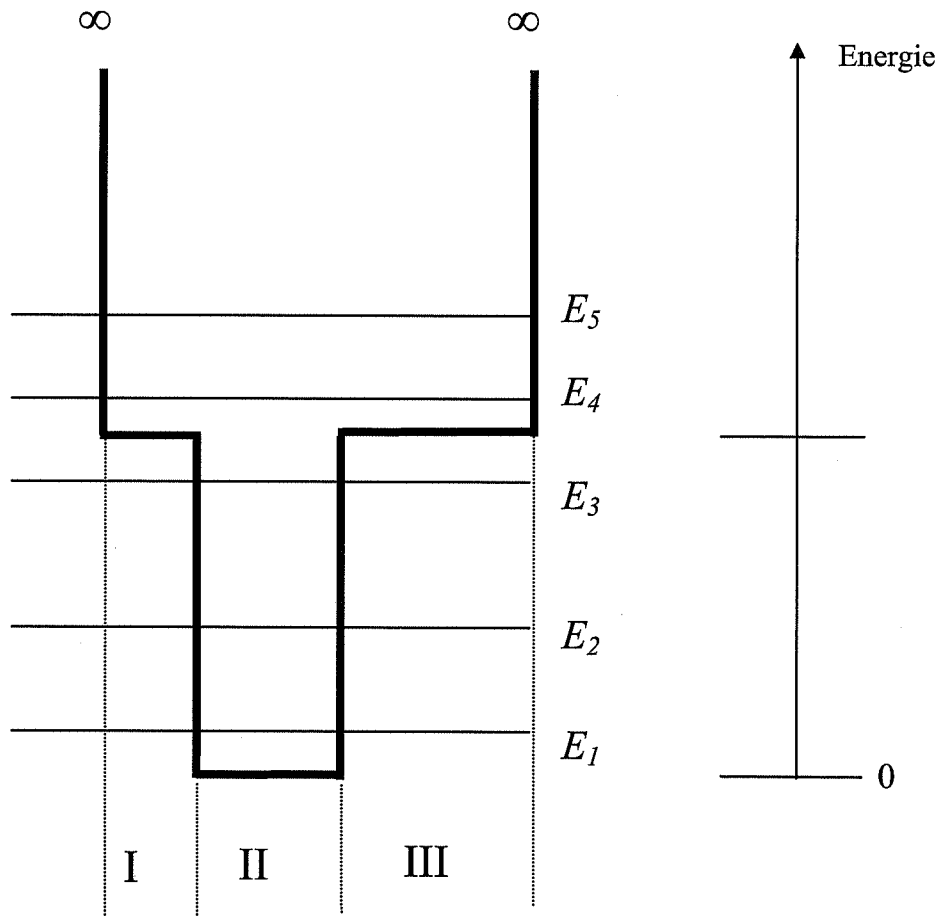
We vergelijken de molekulen N_2 , O_2 en CO .

- 1 a) Geef de elektronenconfiguraties van de geïsoleerde atomen C, N en O.
- 2 b) Geef de Lewisstructuren van de drie molekulen N_2 , O_2 en CO en daarbij de formele ladingen.
- 4 c) Teken het MO-energieniveau diagram van N_2 en van O_2 met daarin de meest gunstige elektronenverdeling voor elk van deze molekulen.
Geef daarbij de bondorder en de magnetische eigenschappen.
- 3 d) Doe hetzelfde (als in c) voor het molekuul CO .

We vergelijken de molekulen ethaan (H_3CCH_3), etheen (H_2CCH_2) en ethyn ($HCCH$).

- 2 e) Geef de Lewis-structuren van deze molekulen.
- 3 f) Geef voor deze molekulen de hybridisaties op de C atomen en beschrijf de bindingen tussen de C atomen (in termen van molecular orbitals).

4. Asymmetrisch potentiaalput (10)



Met behulp van een numerieke oplossing van de Schrödinger vergelijking voor een deeltje met massa m in de hier boven aangegeven 1-dimensionale potentiaalput zijn de energieniveaus $E_1, E_2, E_3, \dots$ gevonden.

- 2 a) Schrijf voor de gebieden I, II en III de tijdsonafhankelijke Schrödinger vergelijking voor het deeltje op.
- 2 b) Geef de wiskundige vorm van de oplossingen van de Schrödinger vergelijkingen voor alle 3 de gebieden zonder de Schrödinger vergelijkingen helemaal op te lossen. Wat kun je zeggen over de amplitude van de golf functie buiten de gebieden I, II en III ?
- 4 c) Teken in de bovenstaande figuur de golf functie voor elk aangegeven energie-niveau zodat hun belangrijke kenmerken duidelijk naar voren komen (toelichten met een paar steekwoorden). Vergeet niet dat de golf functies genormeerd zijn.
- 2 d) Waarom zijn de energieën gequantiseerd?

5. H_2^+ molecuul (11)

- 3 a) Schrijf de Schrödinger vergelijking voor H_2^+ op. Geef voor elke term de fysische betekenis aan. De afstand tussen de twee protonen zij d .
- 2 b) Wij hebben een oplossing van deze Schrödinger vergelijking in de vorm

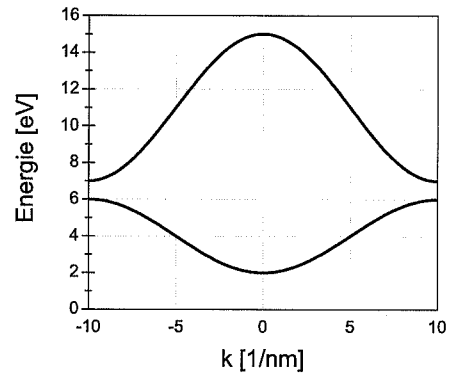
$$\begin{aligned}\psi &= c_a \phi_{H1sa} + c_b \phi_{H1sb} \\ &= aL + bR\end{aligned}$$

gezocht. Wat zijn L en R ?

- 2 c) Wat kun je over a en b zeggen zonder enige berekening te maken ? Leg uit
- 2 d) Van welke integralen hangen de energieën $E_{bonding}$ van de bonding state en $E_{antibonding}$ van de antibonding states?
- 2 e) Waarom divergeren de energieën $E_{bonding}$ en $E_{antibonding}$ wanneer de afstand tussen de twee protonen naar nul gaat ?

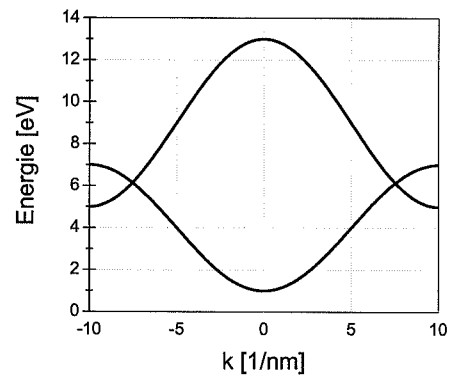
6. Elektrische geleiding in metalen en halfgeleiders (7)

Een vaste stof heeft een bandenstructuur zoals rechts aangegeven.



- 1 a) Neem aan dat voor een bepaalde stof de Fermi energie bij 4 eV ligt. Hoeveel valentie elektronen heeft elk atoom van deze stof? Leg uit.
- 1 b) Neem nu aan dat voor een bepaalde stof de Fermi energie bij 6 eV ligt. Hoeveel valentie elektronen heeft elk atoom van deze stof? Leg uit.
- 2 c) Geef aan welk soort materiaal (isolator of metaal) de stoffen in a) en in b) zijn.

Een andere vaste stof heeft een bandenstructuur zoals rechts aangegeven.



- 3 d) Waar ligt de Fermi energie wanneer elk atoom 2 valentieelektronen heeft? Is deze stof een metaal of een halfgeleider?